

強震資料應用於橋樑結構安全評估

蔡仁卓

萬能科技大學營建科技系

摘要

台灣由於地形因素河川多屬於乾早期無水但於洪水期則對橋樑產生強烈沖刷效應造成橋樑樁基礎面與河床面產生甚大落差，可能使橋樑於地震發生時的結構動態行為產生改變。而因沖刷造成橋樑狀態與原始設計條件不符，進而影響橋樑的結構行為甚而危害橋樑安全性。本文即利用中央氣象局強地動反應實測資料配合橋樑現況量測資料結合橋樑結構動力行為分析，對於橋樑沖刷效應與結構安全性之影響作為評估之依據，亦可提相關單位對於利用強地動資料作為橋樑安全評估與補強決策之參考。

一、前言

台灣由於東西向腹地狹小且河川坡度落差大故而對於通過河川之橋樑時常於設計之初之河川高程與實際河川高程產生極大之變化(如圖 1)。此外由於橋樑因結構材料老化或因使用不當造成結構內部損壞，但因由外觀無法有效判定實際行為。故而如此建立一有效之橋樑安全評估模式亦更形重要性，

國外對於橋樑與安結構系統識別之研究已相當多，例如 Aktan 等[1]以不同模式探討橋樑系統識別方法。Caicedo et al.[2]則以“特徵系統識別計算”(Eigensystem Realization Algorithm, ERA)分析多自由度系統勁度矩陣並據以建立結構破壞評估。Choi[3]則分別以有限元素法方式分析土壤-結構互制行為。國內相關研究方面。對於土壤-結構互制動態行為分析，楊樹華利用不同組合分析模式探討其相關性。陳振華等利用橋樑微震測量方式判定橋樑行為。楊永斌教授則以車輛通過橋樑之動態測量方式瞭解橋樑行為。Loh 等則利用時間域分析法(Time Domain Identification)分析構架於地震載中下行為。台大羅俊雄教授等則透過微地動測量與類神經分析方式瞭解橋樑於強地動反應。

然而上述研究中對於橋樑結構所在基地之行為與橋樑之互動較少描述故本計劃希望能經由橋樑結構與臨近自由場之強地動行為發展一結合地質與實際狀況之橋樑安全評估系統。本文因考慮橋墩柱受沖刷或相關因素造成基礎面變化，與上部結構可能因材料老化或受力破壞所造成之橋樑於強震作用下之震動行為變化作為橋樑安全評估之依據。

二、分析理論

2-1..橋樑結構系統識別-特徵系統實現計算(Eigen-System Realization Algorithm, ERA)

$$\mathbf{K}\phi_j = \lambda_j \mathbf{M}\phi_j \quad (1)$$

其中 \mathbf{K} : 結構勁度 stiffness of structure

\mathbf{M} : 質量矩陣 mass matrix

λ_j, ϕ_j : 結構特徵值 Eigenvalue 與特徵向量 Eigenvector

對於結構損害產生勁度折減可以勁度折減比(Stiffness Loss Ratio, SLR)

$$\text{SLR (\%)} = 100 \times \left(1 - \frac{ds}{us}\right) \quad (2)$$

其中 ds : damaged stiffness, us : undamaged stiffness

橋樑結構之上下結構簡化模式如(圖 2)所示。

2-2.層狀土壤分析

一般土壤性質絕大部份為多層土壤所組成，但對於分析過程中常需將土壤參數化為彈性係數方式方能分析。對此，本文參考陳希舜等提出多層土壤等效楊氏係數提出層狀土壤等值勁度

$$k_{ve} = \left\{ \frac{h_1^{n+1} \sqrt{k_{v1}} + h_2^{n+1} \sqrt{k_{v2}} + \dots + h_n^{n+1} \sqrt{k_{vn}}}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} \right\}^{n+1} \quad (3)$$

其中 k_{v1} 、 k_{v2} 、 \dots 、 k_{vn} : 分別表示不同土層之效垂直反力係數

三、西部濱海公路朴子溪橋計算實例

本文由中央氣象局已設置結構體之強震資料站中選取已設置強震儀之橋樑，選定西部濱海公路台 61 線朴子溪橋為分析之標的。本橋開日期為民國八十四年四月一日，完工日期為民國八十八年一月九日。中央氣象局則於民國八十七年六月一日設置強震觀測儀。橋樑斷面圖如(圖 4)所示。

3-1.層狀土壤分析

本文利用(2-3)節所提出之等效等值彈性係數方法將各鑽探點所得資料計算各鑽探點土壤反力係數並內插算各墩柱之土壤反力係數，如(表 1)所示。

3-2.強震動態分析

3-2-1.強震測站與自由場位置

經由朴子溪橋與臨近自由場資料比對本文初步選定 CHY007 與 CHY008 兩自由場觀測資料為橋樑結構體時間歷時輸入資料，相關位置如(圖 3)所示。其中 CHY007 為最接進結構體自由場測站，但由於未能獲得此測站觀測值故以 CHY008 測站資料為輸入值。此外，由朴子溪橋歷年強震資料與 CHY008 之資料比對發現 2000/02/15 與 2006/03/09 之地震發生位置與規模均相當接近，且紀錄時間分別為橋樑完工初期與接近本研究時間，可明顯比較橋樑因時間所產生之變化。

3-2-2.數值分析成果

本研究將橋樑各部份資訊匯整並以 SAP2000 為分析平台，將橋樑幾何資料(橋跨度、橋墩柱高度、斷面、材料、等)資料於 SAP 建立模型。並將橋體強震儀裝置位置與訊號編碼資料整理。經由 SAP 編碼後得知 P2 頂端與 P2 與 P3 中點及 P3 頂端資料比對。成果如 (表 2)(圖 5)所示

四、結論與討論

經由上述分析本文提出以下結論

1. 經由數值模擬成果可看出結構反應模擬良好，且可便利求出結構反應頻率。
2. 由分析不同時間反應譜可看出超越頻率(super frequency)大致一致，故可視為橋樑雖有部份墩基礎與橋樑材料(P2 至 P3 由鋼構改為 PC 樑)與原設計有變化但整體結構行為並未產生巨大變化。
3. 本文所使用之方式為利用強震儀所記錄資料作為評估橋樑行為方式，但強震儀之設置無法遍及整體結構故可能只作局部橋樑行為分析。

參考文獻

1. Aktan, E, Catbas, N., Turer, A., and Zhang, Z., “Structural Identification: Analytical Aspects,” *Journal of Structural Engineering*, Vol. 124, No. 7, pp.817-829, 1998.
2. Caicedo, J. M., Dyke, S. J., and Johnson, E. A., “Natural Exiting Technique and Eigensystem Realization Algorithm for Phase I of the IASC-ASCE Benchmark Problem, Simulation Data,” *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 130, No. 1, pp.49-60, 2004.
3. Choi, J. S., Lee, J. S., and Yun, C. B. “Identification of Soil Structural Interaction System Using Earthquake Response Data,” *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 130, No. 7, pp. 753-761, 2004.
4. Nagayama, T., Abe, M., Fujino, Y, and Ikeda, K, “ Structural Identification of Nonproportionally Damped System and it Application to a Full-Scale Suspension Bridge,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 131, No. 10, pp.1536-1545, 2005.
5. Yang, Y. B., and Yau, J. D., “Vehicle-Bridge Interaction Element for Dynamic Analysis,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 123, No. 11, pp.1512-1518, 1997.
6. Yun, Y. B., and Yau, J. D., “Vehicle-Bridge Interaction Element for Dynamic Analysis,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 123, No. 11, pp.1512-1518, 1997.
7. 陳西舜、徐偉朝、呂信杰,「層狀土壤系統之地盤反力係數」,力學期刊,第十六卷,第一期,第 69-80 頁,2000。
8. 房性中,「標準貫入試驗 N 值應用的比較與探討」標準貫入試驗 N 值應用的比較與探討,文笙書局,臺北,第 6-9-第 6-12 頁,1998。

9. 交通部公路總局西部濱海公路南區工程處，「西濱快速公路 WH67 朴子溪橋及引道工程竣工圖」，交通部公路總局，1999。

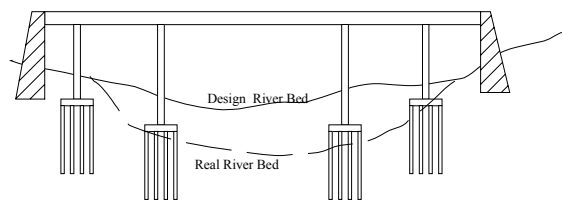
致謝：本文承蒙多公路總局提供橋樑資料與中央氣象局提供相關強震資料與研究經費(MOTC-CWB-95-E-16)使本文得以順利完成，特此致謝。

(表 1)朴子溪橋各基礎層狀土壤等值彈性係數分析表

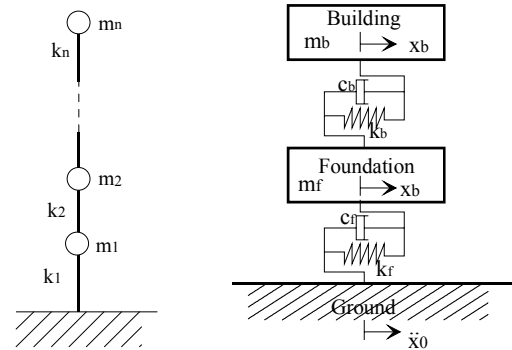
| 4K+020 | | | | |
|--------|--------|----|-----|--------------|
| 土層厚(m) | 土層深(m) | 土質 | N 值 | $K_v(t/m^3)$ |
| 1.2 | -1.2 | 細砂 | 10 | 3.262091 |
| 2.6 | -3.8 | 沉泥 | 10 | 3.262091 |
| 22.8 | -26.6 | 細砂 | 10 | 3.262091 |
| 2 | -28.6 | 黏土 | 6 | 1.957254 |
| 5.8 | -34.4 | 細砂 | 8 | 2.609672 |
| 6.3 | -40.7 | 沉泥 | 13 | 4.240718 |
| 10.7 | -51.4 | 細砂 | 35 | 11.41732 |
| 平均 | | | | 4.258014 |

(表 2)不同強地動引至特徵週期變化比較表

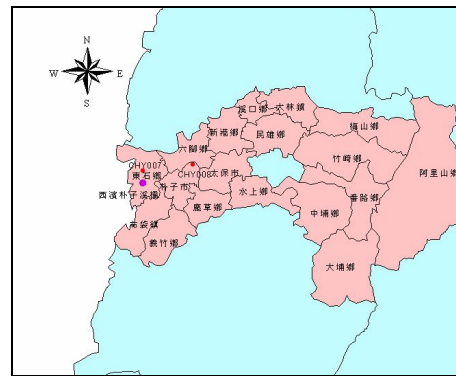
| | Point 1024 | Point 1032 | Point 1034 |
|-------------|------------|------------|------------|
| 20000215-NE | 8.5 | 8.5 | 8.5 |
| 20000215-EW | 6.5 | 6.5 | 6.5 |
| 20060309-NE | 8 | 8 | 8 |
| 20060309-EW | 6.5 | 6.5 | 6.5 |



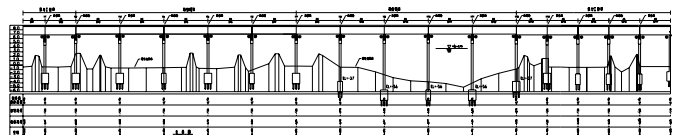
(圖 1)河川設計與實際高程落差示意圖



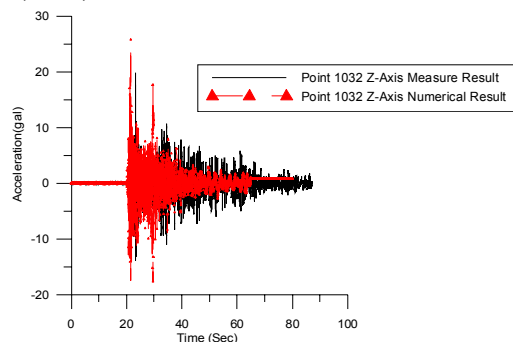
(圖 2)土壤-結構互制關係示意圖



(圖 3)西濱朴子溪橋位置與 CHY008 相關位置圖



(圖 4)西濱公路朴子溪橋全橋斷面圖



(圖 5)加速度時間歷時量測與數值分析比較圖

